

## PRESTACIONES DE UNA MODULACION FH-MFSK COMO TECNICA DE MULTIPLE ACCESO EN COMUNICACIONES MOVILES

*R. Agustí, G. Junyent, F. Casadevall*

*E.T.S.I. Telecomunicación de Barcelona*

### RESUMEN

En esta comunicación presentamos una modulación en banda ensanchada FH-MFSK (Frequency Hopping - Multiple Frequency Shift Keying) apta para utilizarse en comunicaciones militares móviles como técnica de múltiple acceso. Establecemos también cual es el número de usuarios que pueden compartir la banda de frecuencias disponible según un modo de acceso aleatorio y suponiendo una estadística de Rayleigh para los desvanecimientos rápidos de la señal recibida. Finalmente, mostramos resultados para el caso de una banda disponible de 20 MHz y una información vocal digitalizada a 32 Kb/s.

### INTRODUCCION

En contraste con los sistemas de comunicaciones ordinarios, los sistemas de comunicaciones militares se diseñan partiendo de la base de que operaran en ambientes hostiles. En consecuencia técnicas especiales tales como las de banda ensanchada ("Spread Spectrum Techniques") se han ido desarrollando, de alguna manera, desde 1920, [1], y ya de modo generalizado desde la década de los cincuenta. Hay muchas razones para la utilización de las mencionadas técnicas y entre ellas cabe destacar:

- Robustez frente a las interferencias, bien sean provocadas ("jamming") o no intencionadas.
- Baja probabilidad de intercepción.

Aunque actualmente las aplicaciones usuales de estas técnicas continúan siendo las comunicaciones militares, hay un creciente interés, en parte propiciado por una mayor disponibilidad tecnológica, en su aplicación en el campo civil.

En esta comunicación describimos el tipo de modulación en banda ensanchada FH-MFSK, [2], y analizamos su comportamiento en comunicaciones móviles.

#### DESCRIPCION DEL SISTEMA FH-MFSK

La información a transmitir de naturaleza digital entra al transmisor en bloques de  $K$  bits cada  $T$  segundos según muestra la figura 1. A cada bloque se le asigna uno de los  $2^K$  posibles números:  $0, 1, \dots, 2^K - 1$ .

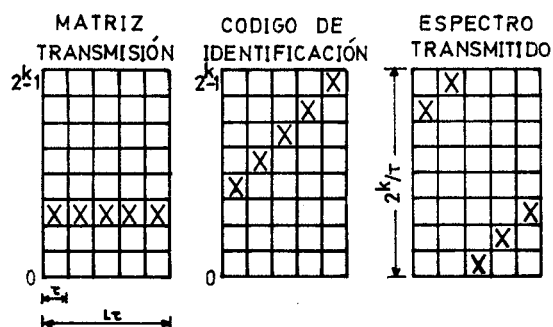
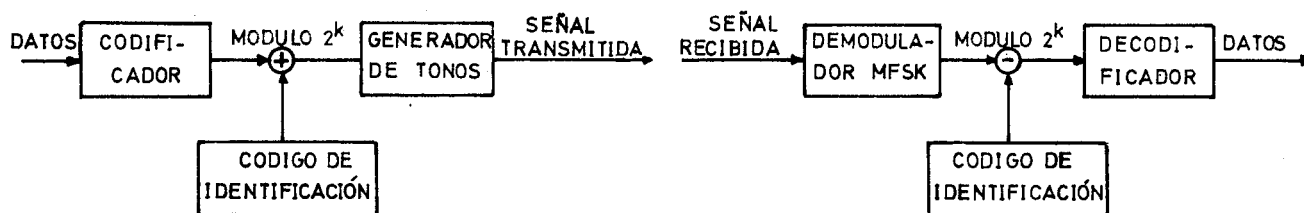


Figura 1 - Transmisor FH-MFSK

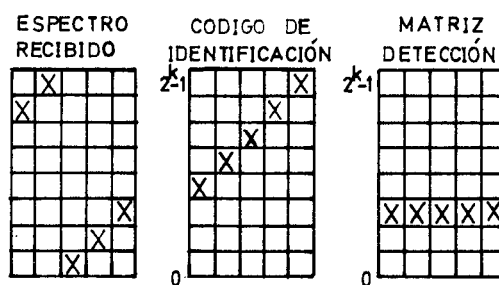


Figura 2 - Receptor FH-MFSK

El destinatario de la información se identifica por un código de  $L$  números, cada uno de ellos pudiendo variar de  $0$  a  $2^K - 1$ . A continuación, cada  $\tau = T/L$  segundos se realiza la suma módulo  $2^K$  entre el número asignado al bloque de  $K$  bits y cada uno de los  $L$  números del código de identificación. Finalmente, a cada uno de los  $L$  números

resultantes se le asigna una de  $2^K$  posibles frecuencias.

En el receptor se realiza la operación contraria según indica la figura 2. El demodulador MFSK genera un número cada  $\tau$  segundos del que se resta, según una operación módulo  $2^K$ , el código de identificación del destinatario. El número resultante convenientemente codificado regenera el bloque de K bits transmitido, también denominado palabra código.

La actuación del receptor en el caso anterior corresponde a un caso ideal de ausencia de errores. En la realidad hay que contar con el ruido así como con la interferencia mutua originada por otros usuarios que comparten el sistema. En estas condiciones, se puede producir falsa alarma cuando se detecta un tono no transmitido por el usuario de interés y pérdida cuando un tono transmitido no es detectado. Puede suceder en tal caso que no haya ninguna fila totalmente llena ni que las demás estén vacías como sucede en el caso ideal (figura 2). No obstante, se puede recibir con una tasa de error baja adoptando la regla de decisión por mayoría: Escoger la palabra código asociada a la fila más llena.

Observemos que el sistema contiene una diversidad en frecuencia intrínseca que lo hace adecuado a entornos que presenten fenómenos de fading selectivo como el canal móvil. Además, los saltos en frecuencia evitan la formación de las ráfagas de errores típicas de estos entornos.

El secreto de las comunicaciones estaría garantizado por la adecuada elección de códigos de dirección y la actuación del "jamming" sería comparable a la actuación de otros usuarios que accedieran al sistema.

Una causa de degradación importante la constituye la presencia de móviles emitiendo muy cerca de la estación de base, en tanto que cau

la interferencia de los canales adyacentes ("spectral splatter"). En el análisis emprendido hemos adoptado la inclusión de un Control de Potencia, [3], en los móviles de modo que la potencia media recibida en la base sea siempre constante.

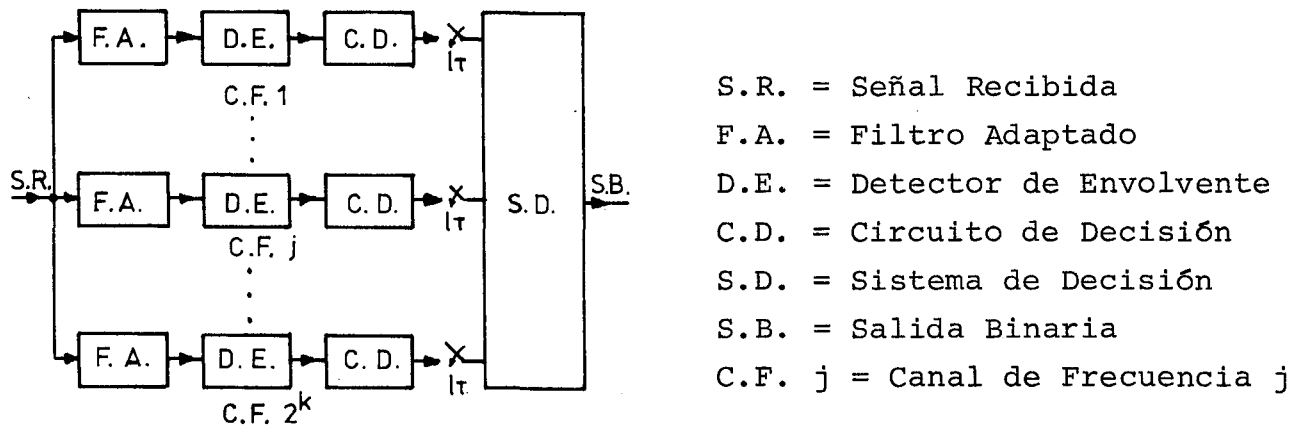


Figura 3 - Demodulador FSK Multinivel

El diagrama de bloques del receptor está en la figura 3. La realización del mismo es factible mediante la utilización de dispositivos que realizan un análisis espectral de la señal recibida de cada  $\tau$  segundos, bien de modo discreto a través de la DFT o en modo analógico mediante SAW (Surface Acoustic Wave), [4].

#### PRESTACIONES DEL SISTEMA FH-MFSK

La calidad del sistema de múltiple acceso depende fuertemente del número de usuarios simultáneos,  $M$ , que lo comparten. Suponiendo que el código de dirección se genera aleatoriamente de modo que cualquier tono tenga la misma probabilidad de aparición, se puede modelar la interferencia mutua a partir de un proceso de Poisson de parámetro  $\lambda = M/2^K \tau$ , [5].

La envolvente compleja a la salida del filtro adaptado correspondiente a un canal genérico es:

$$\begin{aligned}
 Z_o(t) = & R \exp(-j\theta) S_o(t) + \sum_{i=-\infty}^{\infty} R_i \exp(-j\theta_i) S_o(t-t_i) + \\
 & + \sum_c \sum_{v=-\infty}^{\infty} R_{v,c} \exp(-j\theta_{v,c}) S_c(t-t_{v,c}) + n(t)
 \end{aligned}$$

donde el primer término corresponde a la señal deseada, el segundo a la interferencia mutua, el tercero a la interferencia generada por los canales adyacentes y el cuarto al ruido térmico. Además  $R$  y  $\theta$  son variables aleatorias Rayleigh y Uniforme respectivamente, lo mismo sucede con  $R_i$ ,  $R_{v,c}$  y  $\theta_i$ ,  $\theta_{v,c}$ . Las secuencias  $\{t_i\}$  y  $\{t_{v,c}\}$  se modelan mediante procesos de Poisson de parámetro  $\lambda$  y corresponden al canal útil y adyacente "c" respectivamente. Finalmente,

$$S_o(t) = \text{rect}_\tau(t) \exp(-j2\pi \frac{c}{\tau} t) * \text{rect}_\tau(t)$$

$$\text{rect}_\tau(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < \tau \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

El cálculo de la tasa de error por bit,  $P_b$ , se realiza a partir del conocimiento de las probabilidades de falsa alarma,  $P_F$ , y pérdida  $P_P$ , definidas como:

$$P_F = \text{Prob} \{ |r(\tau) + n(\tau)| \geq D \}$$

$$P_P = \text{Prob} \{ |R \exp(-j\theta) S_o(\tau) + r(\tau) + n(\tau)| < D \}$$

donde  $D$  es el umbral de decisión y:

$$r(\tau) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} R_i \exp(-j\theta_i) S_o(t-t_i) + \sum_c \sum_{v=-\infty}^{\infty} R_{v,c} \exp(-j\theta_{v,c}) S_o(t-t_{v,c})$$

Las probabilidades  $P_F$  y  $P_P$  se pueden obtener a partir de los momentos de  $|r(\tau)|^2$  y la utilización de una Regla de Cuadratura de Gauss, [5].

Hemos obtenido resultados para una situación en que la banda disponible es  $W = 20 \text{ MHz}$  y una velocidad de transmisión  $R=K/L\tau \approx 32 \text{ Kkb/s}$  que corresponde a una información vocal digitalizada via una modulación Delta. En estas condiciones  $K = 8$  y  $L = 19$  son óptimos. La figura 4 muestra el valor de la tasa de error por bit en función de la relación señal-ruido SNR, actuando  $M$  como parámetros y para valores

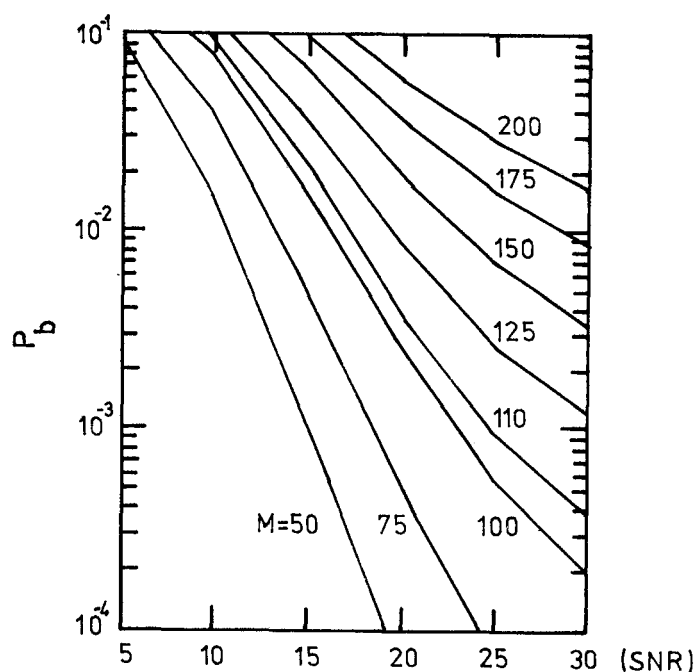


Figura 4 - Tasa de error por bit

Se puede observar como dato significativo que para  $P_b \leq 10^{-3}$  puede haber hasta 110 usuarios simultáneos con  $SNR=25dB$ .

#### REFERENCIAS

- [1] R.A. Scholtz, "The Origins of Spread - Spectrum Communications", IEEE Trans. on Comm, Vol. COM-30, May 1982.
- [2] D.J. Goodman, P.S. Henry and V.K. Prabhu, "Frequency Hopped - Multilevel FSK for Mobile Radio", Bell Syst. Tech. J., Vol. 59, p.p. 1257-1275, Sept. 1980.
- [3] G.R. Cooper and R.W. Nettleton, "Spectral Efficiency in Cellular Land-Mobile Communications: A Spread Spectrum Approach", Report TR-EE 78-44 Purdue University.
- [4] P.F. Mc Kenzie, D.B. Coomber and B.H. Hutchison, "Design and Performance of a SAW based MFSK Demodulator", NTC 1980, pp. 22.6.1, 22.6.5.
- [5] R. Agustí and G. Junyent, "Performance of a FH. Multilevel FSK for Mobile Radio in the presence of nonsynchronous users", 1982 IEEE Military Communications Conference (MILCOM'82), pp. 34.1.1, 34.1.6.